热处理对金柑果实采后腐烂及生理特性的影响[1]

刘　萍，何建军，唐　艳，范七君，牛　英，娄兵海，邓崇岭*

（广西柑橘生物学重点实验室/广西特色作物研究院，广西　桂林　541004）

摘要：金柑是果皮和果肉同食的柑果类型，对采后处理要求极为严格。该文以金柑（*Fortunella crassifolia*）为试材，研究了其经 30 ℃、40 ℃和 50 ℃热水浸泡后果实的腐烂率、失重率、可溶性固形物、硬度、有机酸、细胞渗透率以及抗氧化酶活性变化。结果表明，经 30 ℃热水处理 5 min 的果实失重率高于对照，而经 40 ℃和 50 ℃处理的果实失重率低于对照或差异不显著。经热处理的果实总酸含量略低于对照，可溶性固形物含量在 18%上下波动且差异不显著。热处理可提高果实硬度，降低贮藏前期果实细胞渗透率以及贮藏过程中果实过氧化物酶和超氧化物歧化酶活性，激发过氧化氢含量升高，可有效降低贮藏过程中金柑果实腐烂率，但不同采收期的金柑所需的热处理温度和时间不同。对于 1 月初采收的果实，处理时间为 5 min 或 10 min 可降低果实腐烂率；2 月初采收的果实，40 ℃或 50 ℃热水处理 10 min 可有效降低果实腐烂率；3 月初采收的果实，当处理温度达到 50 ℃ 处理时间达到 10 min，才可有效降低果实腐烂率，且对果实品质没有明显的不利影响。

关键词：热处理，金柑，品质，腐烂率，抗氧化物酶

DOI：10.11931/guihaia.gxzw201712002

Effects of heat treatment on postharvest rot and physiological characteristics of Kumquat fruits

LIU Ping， HE Jianjun， Tang Yan， FAN Qijun， NIU Ying， LOU Binghai， DENG Chongling*

(*Guangxi Key Laboratory of Crtius Biology*，*Guangxi Academy of Specialty Grops*，541004，Guangxi, Guilin)

Abstract: Kumquat was the type of tangerine fruit with the skin and pulp both edible, therefore the processing requirements for the postharvest treatments are extremely strict. The present research treated Kumquat (*Fortunella crassifolia* Swingle) with hot water using three temperature gradient, 30℃, 40℃and 50℃, respectively. The fruit rot rate, weight loss rate, soluble solids, hardness, organic acid, cell permeability and the changes of antioxidant enzyme activity was investigated. The results showed that the total acid content was maintained at 0.3% during the storage process. After heat treatment, the total acid content was slightly lower than that of the control, and the soluble solids content was around 18% and not significant compared to the control. The hardness of the treated fruits was first decreased and then increased during storage, but the hardness of the heat-treated fruit was higher than that of the control group during the whole storage. The leakage rate of cell membrane first increased and then decreased, and the hot water treatment could delay the peak time. The fruits CAT activity of the 40℃and 50 ℃hot water treatment was lower the control. During the whole storage period, the fruits POD activity was lower than that of the control after hot water treatment. Hot water treatment can increase the Kumquat fruit SOD activity, and with the increase of storage temperature, the effect was enhanced. Hot water treatment could increase the H_2O_2

---

[1]基金项目：桂林市科学研究与技术开发计划（2011GL003）；广西柑橘生物学重点实验室（SYS2015X006）；桂北柑橘综合试验站(2016-2020)[Supported by the Natural Science Foundation of Guilin(2011GL003)；Guangxi Key Laboratory of Crtius Biology(SYS2015X006)；the Citrus comprehensive test station in North of Guangxi(2016-2020)]

作者简介：刘萍（1983-），山西左权人，硕士，助理研究员，主要从事采后生物技术与研究工作，（E-mail）liupingsmile@126.com。

通讯作者：邓崇岭，研究员，主要从事柑橘品种选育研究工作，（E-mail）cldeng88168@126.com。

content of the fruit and thus induce a series of physiological effects. However, the temperature and the duration of hot water treatment should be correspondingly adjusted. In this study we showed that, for the fruit harvested in March, if the hot water was higher than 40℃, the processing time should be longer than 5 min, thus can effectively reduce the rate of fruit decay.

Key words: Hot water treatment， Kumquat; rotting rate， quality，defense enzyme

金柑（*Fortunella crassifolia*），色泽金黄、营养丰富、具有止咳化痰等功效，且11月至翌年3月上市，深受消费者欢迎。截止2016年广西阳朔县白沙镇金柑的栽培面积达到1万 hm^2，年产量30万t，经济效益可观，但价格波动大，且采后保鲜技术不配套。因此研究金柑采后保鲜技术，降低果实腐烂率，对产业发展至关重要。然而，金柑不同于其它柑橘品种，果皮和果肉同时可以食用，因此园艺产业中常用的有毒化学杀菌剂在金柑中不适合使用，应以物理方法和无毒的化学保鲜方法为主。

贮藏前热处理一般是指用高于果实成熟季节（10～15 ℃）的温度对果实进行采后处理的一种技术（詹丽娟，2006），其在水果采后的中的研究与应用已有近一百年的历史。研究表明，热处理可改变水果表皮结构和清除表皮细菌，会使植物病原菌细胞质凝结、细胞溶解（Hansen et al,2006），减少微生物入侵的几率；同时，可降低细胞壁裂解酶活性（Gustavo & Civello,2008），提高抗氧化物酶活性和β-1,3葡聚糖酶基因的表达，且对果实可溶性固形物含量和色泽等品质没有负面影响（Hong et al,2007）。热处理的方法主要有热水、热空气、热蒸汽和热灰掩埋等，生产中以热水和热空气处理为主。热空气处理温度较低，热伤害较小，但传热较慢，所需时间较长；热水处理时间短，易操作，但温度过高容易造成热伤害，因此热处理的温度和时间要由水果的大小、种类和成熟度等因素来决定才能达到有效的处理且没有热伤害。目前热处理技术在柑橘（Ezz et al,2004）和猕猴桃（Mao et al,2014）等的采后保鲜中广泛应用。近年来有关金柑的保鲜方法主要有水杨酸处理（王淑娟等，2012）、采后钙处理（刘萍等，2016）以及留树保鲜（李明娟等，2012）等。有关金柑果实热处理的处理温度和处理时间的报道较少。本试验根据阳朔金柑采收期不断延长的产业特点，针对不同采收期的金柑，研究热处理对金柑果实腐烂率、果实品质和抗氧化酶活性的影响，寻找最佳的热处理温度和时间，以此探讨热处理应用于金柑采后贮藏保鲜上的可能性，为生产实践提供基础。

1 实验材料和方法

1.1 实验材料和处理

该试验在2013—2015年，广西阳朔县白沙镇进行，10 a生金弹（*Fortunella crassifolia* Swingle），株行距4 m×4 m。成熟期采收大小一致的果实，热处理后放置室温贮藏。鲜果进行失重率、可溶性固形物和有机酸含量测定，果皮经液氮速冻，研磨后放置于-80 ℃超低温冰箱中保存备用，用于酶活性测定。重复两年。

热处理：设30 ℃、40 ℃和50 ℃三个温度梯度，分别浸泡3 min、5 min和10 min，凉干后放置室温贮藏。

对照：不经任何处理，通风晾干后室温贮藏。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 贮藏期果实腐烂率统计 分别在2013年12月27日、2014年1月27日和3月3日 2015年1月4日、2月3日和2月27日采集成熟度和大小一致的果实，设30 ℃、40 ℃和50 ℃三个温度梯度，3 min，5 min和10 min三个时间梯度，进行不同温度和不同时间热处理。每个处理选200个果，单果包装后室温贮藏。每隔7 d统计一次腐烂果个数，计算果实腐烂率。

1.2.2 青霉菌接种实验 以2月3日采收的果实为材料，分别用30 ℃、40 ℃和50 ℃热水处理5 min，每个处理选60个金柑用于接种实验。每个果实接种10 μL 1×10^5 CFU mL^{-1}的青霉菌液，

在室温下贮藏。接种后每天统计发病率及病斑大小。

1.2.3 失重率 每个处理随机选取 10 个果实，每隔 5 天测定其重量，计算失重率。

1.2.4 可溶性固形物 取果汁，用数显糖度计（RA-250WE、KEM）测定。

1.2.5 可滴定酸 取果汁稀释 10 倍，用 0.05 mol • L^{-1} 氢氧化钠酸碱滴定法。

1.2.6 果实硬度 利用果实硬度计（GY-3，浙江托普仪器有限公司）进行测定。

1.2.7 细胞膜渗透率测定 每个处理随机选取 6~8 个果实，削 2 mm 厚果皮，并将其剪成大小一致的小块，称取 1.0 g 样品放入三角瓶，加入 50 mL 去离子水静置过夜后，测初电导率，100 ℃水浴 10 min 后，放置 2 h 测终电导率，以初电导率的百分率代表膜透性。

1.2.8 抗氧化物酶活性测定 采用愈创木酚还原法，470 nm 比色测定 POD 活性；采用高锰酸钾还原法，240 nm 比色测定 CAT 活性；采用 NBT 还原法，以抑制氮蓝四唑光化还原的 50%为一个酶活性单位，在 560 nm 比色测定 SOD 活性（李合生，2000）。

1.2.9 H_2O_2 活性 采用硫酸钛法（谭钺等，2014），410 nm 比色测定。

1. 3 数据统计与分析

应用 Excel 和 SAS 软进行数据统计和差异显著性分析。

2 实验结果

2. 1 热处理对不同采收期金柑腐烂率的影响

表 1 热处理对 1 月份采收金柑腐烂率的影响

Table. 1 Effects of hot water treatment on decay rate of kumquat fruit harvested in January and stored at ambient temperature

(%)

处理 Treatments	贮藏时间 Storage time （d） 1	7	14	21	28	35	49	60
30℃3min	0a	1.5b	2b	2c	2.5bc	3cde	14.5	26b
30℃5min	0a	2.5a	4.5a	5a	5a	6a	11bc	11.5f
30℃10min	0a	0.5c	3.5	3.5	3.5	4.5abc	7	12f
40℃3min	0a	0d	1.5bc	1.5cd	4.5a	5ab	12b	23c
40℃5min	0a	0d	0.5cd	0.5de	1cd	2.5de	7.5d	20.5d
40℃10min	0a	0.5c	1.5bc	1.5cd	1.5cd	2def	6.5d	17.5e
50℃3min	0a	0d	0d	0e	1.5cd	3.5	15.5a	39a
50℃5min	0a	0.5c	0.5cd	0.5de	0.5d	1.5ef	3e	8g
50℃10min	0a	0d	0d	0e	0d	0.5f	2e	6.5g
CK	0a	0.5c	1bcd	1.5cd	1.5cd	1.5ef	9.5c	23.5c

注：不同小写字母表示同一时间不同处理在 P<0. 05 水平差异显著。下同。

Note: Defferent lowercase letters indicate that different treatments at the same time had significant difference at P<0.05 level.The same below.

由表 1 可知，1 月份采收的金柑果实，各处理果实在贮藏前期腐烂率较低，贮藏后第 35 天腐烂率开始明显上升。与对照相比，经 30 ℃、40 ℃和 50 ℃热水处理 3 min 的果实腐烂率高于对照果实，其他各处理腐烂率均低于对照。同一温度相比，3 min、5 min 和 10 min 处理时间越长，作用效果越明显。在贮藏后第 49 天，对照果实的腐烂率为 9. 5%，经 30 ℃热处理 3 min、5 min 和 10 min 的腐烂率分别为 14. 5%、11%和 7%；经 40 ℃不同时间热处理的果实腐烂率分别为 12%、7. 5%和 6. 5%；经 50 ℃不同时间热处理的果实腐烂率分别为 15. 5%、3%和 2%。对于 1 月份采收的果实，当处理时间超过 5 min 才能有效降低果实腐烂率。

表 2 热处理对 2 月份采收金柑果实腐烂率的影响

Table.2 Effects of hot water treatment on the fruit decay rate of kumquat fruit harvested in February and stored at ambient temperature

（%）

处理 Treatments	贮藏时间 Storage time （d） 1	7	21	32	42	50	56	64
30℃3min	0a	0c	5e	16cd	26c	36b	42c	52c
30℃5min	0a	0c	8d	17c	23d	29c	33e	39e
30℃10min	0a	0c	17b	31a	40a	49a	59a	66a
40℃3min	0a	0c	4ef	9f	18e	27d	37d	41d
40℃5min	0a	3a	20a	22b	23d	24e	31f	35g
40℃10min	0a	0c	3f	8f	11g	14h	27h	32h
50℃3min	0a	0c	3f	15de	32b	49a	51b	62b
50℃5min	0a	0c	3f	8f	15f	22f	26h	38ef
50℃10min	0a	1c	3f	8f	12g	16g	19i	27i
CK	0a	2b	11c	14e	18e	22f	29g	37f

由表 2 可知，2 月初采收的金柑果实在贮藏后第 21 天腐烂率开始急剧上升。与 1 月初采收的金柑果实不同，经 30 ℃热水处理 10 min 的果实腐烂率高于经 30 ℃热水处理 5 min 的果实，且经 30 ℃热水处理的果实腐烂率高于对照。在 40 ℃和 50 ℃热水处理中，经 50 ℃热水处理 10 min 的果实腐烂率最低。在贮藏第 50 天，40℃热水处理 3 min、5 min、10 min 的果实和对照果实腐烂率分别为 27%、24%、14%和 22%。在贮藏第 56 天，经 50 ℃热水处理的果实和对照果实腐烂率分别为 51%、26%、19%和 29%。这说明对于 2 月初采收的金柑果实当热处理温度大于 40 ℃且作用时间超过 5 min 才可降低金柑果实腐烂率。

表 3 热处理对 3 月初采收的金柑果实腐烂率的影响

Table.3 Effects of hot water treatment on the fruit decay rate of kumquat fruit harvested in March and stored at ambient temperature

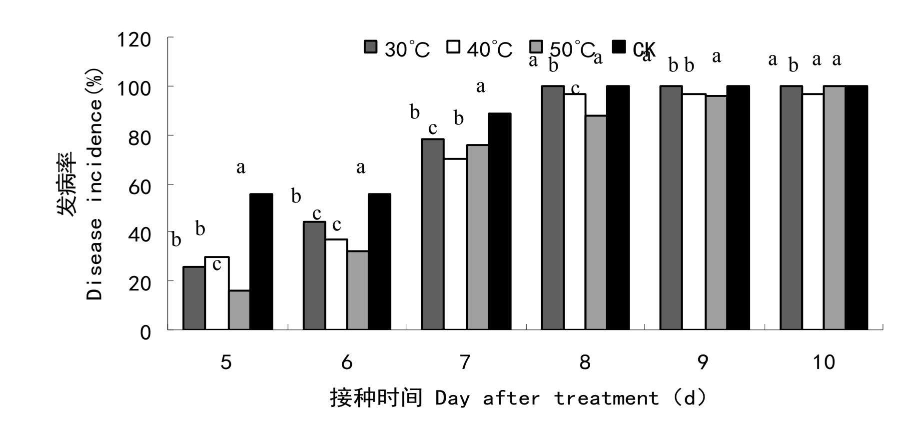
（%）

处理 treatments	贮藏时间 Storage time （d） 1	7	17	25	39	46	56	61
30℃3min	0a	0a	0e	9cd	22b	24c	26d	29cd
30℃5min	0a	0a	9a	12b	21bc	22de	24ef	26e
30℃10min	0a	0a	0e	8de	20cd	21e	23f	25e
40℃3min	0a	0a	2d	7ef	22b	26b	28c	28d
40℃5min	0a	2a	6b	10c	22b	27b	30b	32b
40℃10min	0a	0a	6b	9cd	19d	22de	25de	25e
50℃3min	0a	0a	4c	7ef	19d	26b	28c	30c
50℃5min	0a	0a	6b	9cd	20cd	23cd	28c	28d
50℃10min	0a	0a	3cd	6f	12e	13f	14g	16f
CK	0a	0a	10a	14a	27a	29a	32a	34a

由表 3 可知，3 月初采收的果实贮藏性较差，在贮藏第 17 天后腐烂率开始急剧上升。30 ℃热水处理的作用效果与 40 ℃热水处理相比差异不显著，各处理以 50 ℃热水处理 10 min 作用效果最显著。在贮藏第 46 天，经 50 ℃热水处理 3 min、5 min 和 10 min 果实腐烂率分别为 26%、23%和 13%，对照果实为 29%。这说明对于 3 月初采收的果实热处理温度要达到

50 ℃，且作用时间要超过 5 min 才可有效减少果实腐烂率。

2.2 不同温度热处理对果实腐烂率及病斑大小的影响



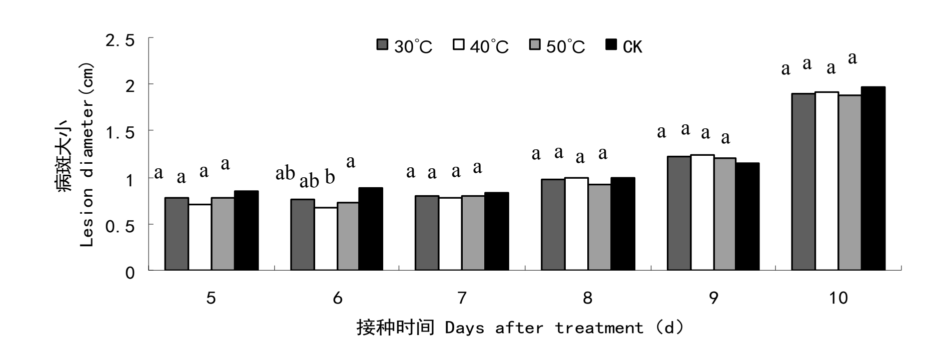
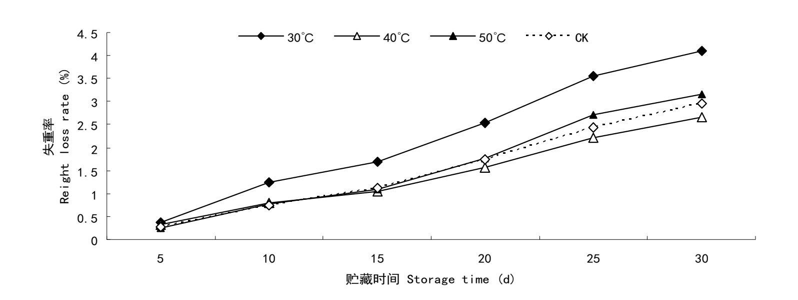


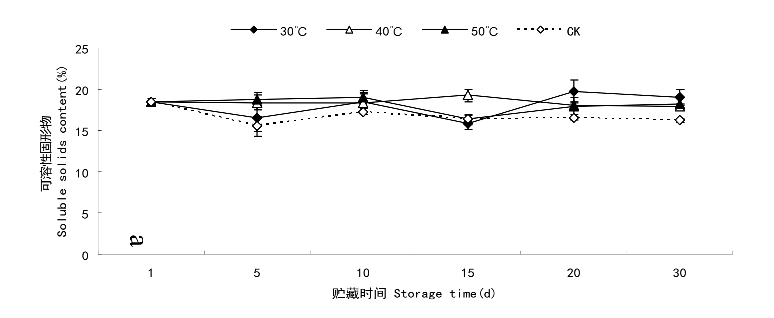
图 1 不同温度热处理对室温贮藏金柑果实青霉病发病情况的影响

Fig .1 Effects of different hot water treatments on disease development in kumquat fruit during storage at ambient temperature

由图 1 可以看出，各处理果实在接种后第 5 天开始发病，经 30℃、40℃、50℃热处理和对照果实发病率分别为 25.9%、29.6%、16%和 55.6%。接种后第 8 天，各处理和对照果实发病率分别为 100%、96.3%、88%和 100%。接种后第 9 天各处理间果实发病率无显著差异。对照果实病斑直径大于热处理果实，在接种后第 5 天，各热处理和对照果实病斑直径分别为 0.79、0.71、0.78 和 0.85cm，接种第 7 天各处理和对照果实病斑直径分别为 0.80、0.78、0.80 和 0.87 cm。

2.3 热处理对金柑果实失重、可溶性固形物和有机酸含量变化的影响





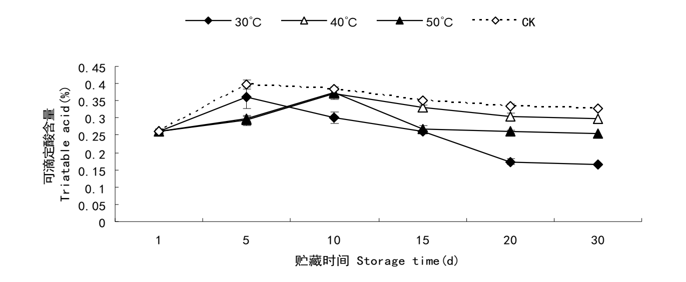
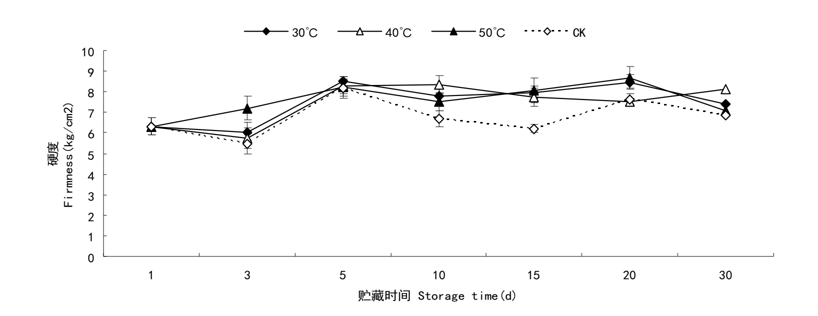


图 2 各处理贮藏过程中果实失重、可溶性固形物和有机酸含量变化

Fig.2 Changes in weight loss，soluble solids and organic acids contents of kumquat fruit with different treatments and sored at ambient temperature.

由图 2 可知，贮藏过程中各处理果实失重率逐渐增加，经 30 ℃处理的果实，失重率高于对照果实，经 40 ℃处理的果实失重率低于对照，经 50 ℃处理的果实在贮藏前 20 天失重率与对照基本一致，贮藏后期失重率略高于对照。在贮藏第 20 天，各处理和对照果实失重率分别为 2.53%、1.55%、1.76%和 1.74%。贮藏过程中，可溶性固形物含量在 18%上下浮动，经热处理的果实可溶性固形物高于对照果实。可滴定酸含量在先上升后下降并维持在 0.3%上下，处理的果实可滴定酸含量低于对照果实。

2.4 不同处理对果实硬度和细胞膜渗透率的影响



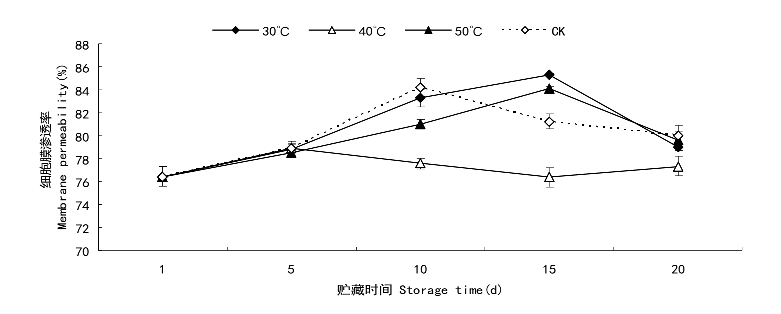


图 3 室温贮藏过程中各处理果实硬度、细胞膜渗透率变化

Fig. 3 Changes in firmness and membrane permeability of kumquat fruit with different treatments at ambient temperature

由图 3 可知，各处理果实的硬度在贮藏过程中呈现先下降再上升波动变化，但在整个贮藏过程中经热处理的果实硬度高于对照果实。细胞膜渗漏率在贮藏过程中呈现先上升后下降的变化趋势，对照果实在贮藏后第 10 天细胞膜渗透率达到高峰。热处理可延缓高峰出现，经 30 ℃和 50 ℃处理的果实，在贮藏第 15 天出现高峰。各处理相比，经 40℃热水处理的果实细胞膜渗透率最低，经 30 ℃和 50 ℃处理的果实在贮藏前 10 天细胞膜渗透率略低于对照，15 天后高于对照果实。在贮藏第 10 天，经 30 ℃、40 ℃、50 ℃热水处理和对照果实的细胞膜渗透率分别为 83.3%、77.6%、81.0%和 84.2%。

2.6 不同温度热处理对金柑果实 POD、SOD、CAT 活性以及 H_2O_2 含量的影响

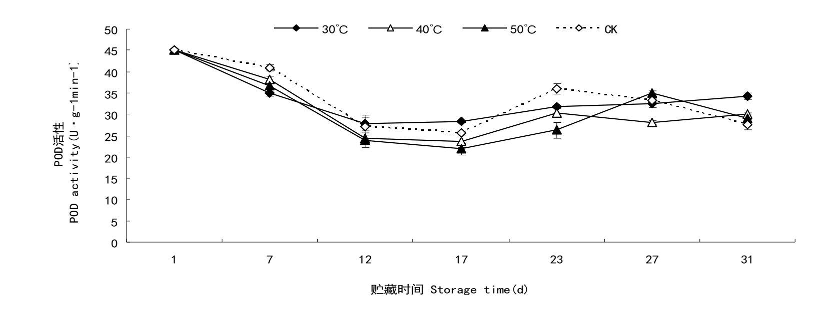


图 4 不同温度热处理对金柑果实 POD 活性的影响

Fig.4 Effect of differents temperature hot water treatment on POD activity of kumquat fruit during storage.

由图 4 可知，贮藏过程中，各处理果实 POD 活性先下降 17 天后上升又下降，经热处理的果实 POD 酶活性低于对照果实。各处理相比，经 50 ℃热处理的果实 POD 酶活性最低，且处理温度越高，POD 酶活性越低。

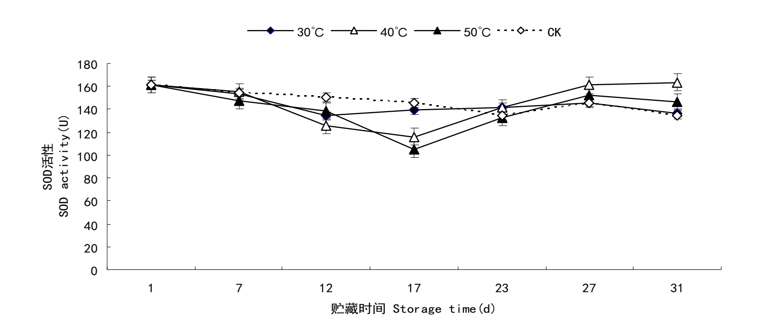


图 5 不同温度热处理对金柑果实 SOD 活性的影响

Fig.5 Effect of differents temperature hot water treatment on SOD activity of kumquat fruit during storage.

由图 5 可知，各处理果实 SOD 活性在贮藏过程中呈先下降后上升的变化趋势。经热处理的果实 SOD 酶活性在贮藏前期低于对照果实，贮藏 23 天后高于对照。随着贮藏温度的升高，作用效果越显著，经 30 ℃处理的果实 SOD 酶活性与对照相比差异不显著。

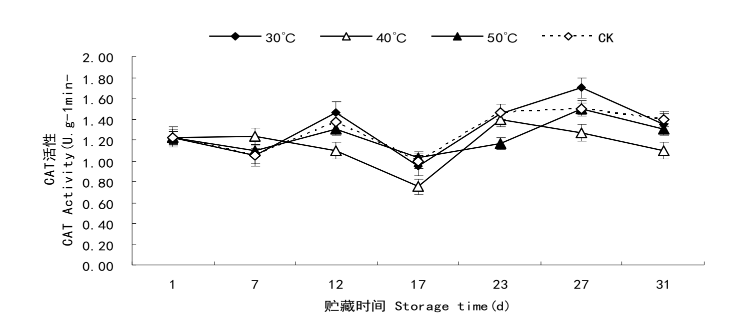


图 6 不同温度热处理对金柑果实 CAT 活性的影响

Fig.6 Effect of hot water treatment on CAT activity in kumquat fruit during storage.

从图 6 可以看出，贮藏过程中各处理果实 CAT 活性起伏波动，在贮藏前期酶活性下降，17 天后上升然后再次下降。经 40 ℃和 50 ℃热处理的果实 CAT 活性低于对照果实，经 30 ℃处理的果实与对照果实差异不显著。

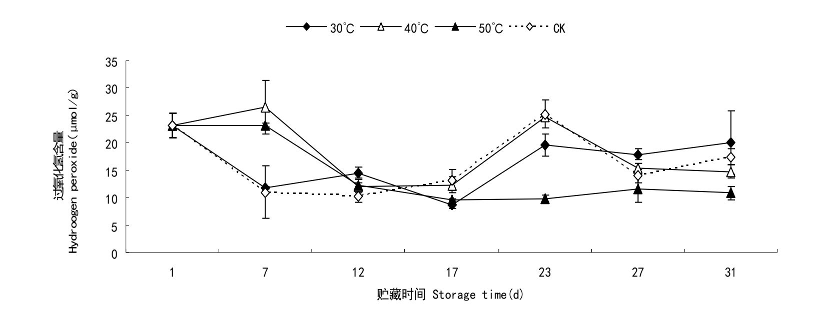


图 7 热处理对金柑果实 H_2O_2 含量的影响

Fig.7 Effect of hot water treatment on H_2O_2 content in kumquat fruit during storage.

从图 7 可以看出，经 50 ℃热处理的果实在贮藏第 7 天，H_2O_2 含量急剧上升然后下降，整个贮藏后期 H_2O_2 含量低于对照；经 40 ℃热处理的果实在贮藏第 7 天，H_2O_2 含量急剧上升然后下降，贮藏后期起伏波动；经 30 ℃热处理的果实 H_2O_2 含量与对照变化趋势基本一致，贮藏前期下降，贮藏第 23 天上升然后下降。这说明 40 ℃和 50 ℃热处理可激发贮藏早期金柑果实 H_2O_2 含量。

3 讨论与结论

果实腐烂率直接影响果实采后贮藏性。该试验发现，采后热处理可有效降低金柑果实腐烂率延长金柑贮藏期。但不同采收期的果实，所需要的作用温度和作用时间也有所不同。该文研究结果表明，30 ℃热处理可有效降低 1 月初采收果实的腐烂率，但对于 3 月份采收的果实作用不显著。这说明有效的处理温度不仅与品种和果实大小有关，还与采收期密切相关。果实的失重率，可溶性固形物和可滴定酸含量以及果实硬度是体现果实内在品质的重要指标，同时影响着果实的贮藏性。该试验研究表明，30 ℃热处理增加果实失重率，40 ℃和 50 ℃热处理对果实失重影响不显著。这说明热处理可以激发果实的呼吸速率，但当温度达到一定高度时这种刺激作用会减弱，说明适宜的处理温度可以抑制果实在贮藏过程中的呼吸速率减缓生理代谢。这与 luo et al（2009）和 Alique et al（2005）等在杨梅和草莓上的研究一致。另外，热处理可增加可溶性固形物含量，降低果实可滴定酸含量，对果实品质具有一定的影响，但影响较小，这与王静等（2016）的研究一致。

有研究表明，当植物受到胁迫刺激时，H_2O_2 会迅速产生并由质膜水通道进入细胞质，作为第二信使参与信号转导、基因调控和防御反应在细胞间迅速扩散和代谢。田世平等（2011）研究报道 H_2O_2 可促进植物细胞壁的形成，诱导植保素合成，参与植物细胞的形态重建。该试验研究结果表明，热处理可诱导贮藏前期金柑果实 H_2O_2 含量的升高，提高果实硬度，降低贮藏前期细胞渗透率的上升，这与王静等（2016）和千春录等（2013）研究一致。这可能是因为采后热激处理使金柑果实受到胁迫，从而激发 H_2O_2 的合成，H_2O_2 做为信号分子诱导植物产生一系列抗逆反应，维护细胞膜的稳定性，改变果实硬度，从而提高果实贮藏性。但是多余的 H_2O_2 对生物膜、核算、蛋白等具有损伤作用，而植物体内的 SOD、CAT 和 POD 等抗氧化物酶可调节体内 H_2O_2 的平衡。该试验研究表明，热处理果实 POD 活性低于对照果实，贮藏前 17 天处理果实 SOD 活性低于对照，CAT 活性高于对照，这与庞凌云等（2012）在金柑和赵云峰等（2014）在龙眼上的研究一致，与绍兴峰等（2007）在苹果上的研究不一致，这可能因为不同品种和处理时间，热处理对其作用效果不一致。此外，该试验研究结果表明，在贮藏 23 天后，对照果实的 H_2O_2 含量升高且高于处理果实，于此同时处理果实 SOD 活性高于对照，再次证明为了避免过多的 H_2O_2 对植物造成损失，植物体内本身会做出相应的应急反应。

综上所述，热处理可激发果实 H_2O_2 含量增加，诱导一系列信息表达，从而延缓果实衰老，且不影响金柑果实正常风味。热处理在金柑采后贮藏保鲜上具有一定的效果，但采收时间不同，最佳处理温度也有所不同。1 月上旬采收的金柑果实，处理温度为 30 ℃、40 ℃和 50 ℃，处理时间为 5 min 或 10 min 可降低果实腐烂率；对于 2 月初采收的果实，40 ℃或 50 ℃热水处理 10 min 可有效降低果实腐烂率；对于 3 月初采收的果实，当处理温度达到 50 ℃，处理时间达到 10 min，才可有效降低果实腐烂率。

参考文献

ALIQUE R，ZAMORANO JP，MARTINEZ MA，et al，2005．Effect of heat and cold treatments on respiratory metabolism and shelf-life of sweet cherry，type picota cv “Ambrunes”[J]．Postharvest Biol Technol，35：153-165.

EZZ TM，RITENOUR MA，BRECHT JK，2004．Hot water and elevated CO_2 effects on proline and other compositional changes in relation to postharvest chilling injury of 'Marsh' grapefruit[J]．J Amer Soc Hort Sci，129(4)：576-582.

GUSTAVO AM，CIVELLO PM，2008．Effect of heat treatments on gene expression and enzyme activities associated to cell wall degradation in Strawberry fruit[J]．Postharvest Biol Technol，49: 38-45.

HANSEN J D，HEIDT M L，NEVEN L G，et al，2006．Effect of high-pressure hot-water washing treatment on fruit quality，insects and disease in apples and pears Part III．Use of silicone-based materials and mechanical methods to eliminate surgace pests[J]．Postharvest Biol Technol，40：221-229.

HONG SI，LEE HH，KIM D，2007．Effects of hot water treatment on the storage stability of satsuma mandarin as a postharvest decay control[J]．Postharvest Biol Technol，43：271-279.

LUO ZS，XU TQ，XIE J，et al，2009．Effect of hot air treatment on quality and ripening of Chinese bayberry fruit[J]．J Sci Food Agri，89: 443-448.

LIU P，FAN QJ，NIU Y，et al, 2016．Effects of calcium hypochlorite treatment on postharvest decay and defense enzyme activity of kumquant fruits[J]．J fruit Sci，33(9)：1148-1155.[刘萍，范七君，牛英，等，2016．次氯酸钙处理对金柑采后腐烂及抗氧化物酶活性的影响[J]．果树学报，2016，33(9)：1148-1155.]

LI MJ，LIU GH，HE XH，et al, 2012．Effects of rain shelter cultivation on quality of Fortunella crassifolia fruies during the tree storage[J]．N Hort，04：149-153.[李明娟，刘根华，何新华，等，2012．避雨栽培对金柑留树保鲜果实品质的影响[J]．北方园艺，04：149-153.]

LI HS, 2000．Principles and technology of plant physiology and biochemistry experiments [M]．Beijing：Higher Education Press，164-168．[李合生, 2000．植物生理生化实验原理和技术[M]．北京：高等教育出版社，164-168．]

MA QS，SUO JT，HUBER D J，et al，2014．Effect of hot water treatments on chilling injury and expression of a new C-repeat binding factor(CBF) in‘Hongyang’kiwifruit during low temperature storage[J]．Postharvest Biol Technol，97(11)：102-110.

PANG LY，ZHAN LJ，LI Y，et al，2012．Effects of different heat treatments on storage quality of Kumquant[J]．Food Fermn Ind，38（11）：211-214.[庞凌云，詹丽娟，李瑜，等，2012．不同热处理对金橘贮藏品质的影响[J]．食品与发酵工业，38（11）：211-214.]

QIAN CL，HE ZP，LIN J，et al，2013．Effect of hot air treatment on the quality and reactive oxygen species metabolism of cold stored Huanghua Pear fruits[J]．Food Sci，34(2)：303-306．[千春录，何志平，林菊，等，2013．热处理对黄花梨冷藏品质和活性氧代谢的影响[J]．食品科学，34（2）：303-306.]

SHAO XF，TU K，JING W，et al，2007．Effect of per-storage hot treatment on the blue mold rot of “Red Fuji” apple fruit[J]．Acta Horti Sin，34(3)：743-746．[邵兴峰，屠康，静玮，等，2007．热处理对红富士苹果贮藏期间青霉病的抑制作用[J]．园艺学报，2007，34（3）：743-746.]

TAN Y，WANG MS，LÜ M，et al，2014．Effects of different dormancy-bieaking treatemts on H_2O_2 content and acticity of related enzymes of dormant nectarine buds [J]．Chin Agri Sci bull，30（28）：128-132．[谭钺，王茂生，吕勐，等，2014．不同破眠处理对油桃休眠芽 H_2O_2 含量及相关酶活性的影响[J]．中国农学通报，30（28）：128-132．]

TIAN SP，LUO YB，WANG GX，2011．Biological basis of horticultural products[M]．Beijing :Science Press，43-44．[田世平，罗云波，王贵禧，2011．园艺产品采后生物学基础[M]．北京：科学出版社，43-44．]

WANG SJ，CHEN M，CHEN JY，2012．Effects of salicylic acid treatments on postharvest physiology and storage of ‘Suichuan Kumquat’fruits[J]．J fruit Sci，06：1110-1114．[王淑娟，陈明，陈金印，2012．水杨酸对‘遂川金柑’采后生理及贮藏效果的影响[J]．果树学报，06：1110-1114.]

WANG J，MAO LC，LI XW，et al，2016．Reduction of active oxygen metabolism and mitigation of chilling

injury in Hami melon fruit as influenced by postharvest hot water treatmnt[J]．Trans Soci Agri Engi，32(2)：280-28．[王静，茂林春，李学文，等，2016．热处理降低哈密瓜果实活性氧代谢减轻冷害[J]．农业工程学报，32(2)：280-286.]

ZHAO YF， LIN HT， LIN YF， et al， 2014． Effect of hot treatment on browing delaying and phenolics metabolism in pericarp of harvested longan fruit[J]．Mod Sci Tech，30(5)：218-224．[赵云峰，林河通，等，2014．热处理延缓采后龙眼果实果皮褐变及其与酚类物质代谢的关系[J]．现代食品科技，30(5)：218-224.]

ZHAN LJ， 2006． Effects of chitosan and heat treatment on quality and physiology during storage and characterization of POD in water chestnut[D]．Hangzhou：Zhejiang University，2006．[詹丽娟，2006．壳聚糖和热处理对南湖菱贮藏品质和生理的影响以及PPO特性研究[D]．杭州：浙江大学.]